ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Nova proposta para determinar prazos entre inspeções de pontes de concreto

New proposal to determine deadlines between inspections of concrete bridges

Cláudia Rafaela Saraiva de Melo Simões Nascimento
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | claudia.msnascimento@ufpe.br
Vinicius Porto Feitosa
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | vinicius.portof@ufpe.br
Naiara Meireles de Souza
Universidade Federal de Rondônia | Cacoal | Brasil | naiara.souza@unir.br
Rachel Perez Palha
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | rachel.palha@ufpe.br

Resumo

Este artigo apresenta um novo método para cálculo de prazo entre inspeções de pontes de concreto visando intervalos de inspeção mais racionais baseados na característica da ponte e no julgamento de engenharia dos inspetores. A metodologia se inicia na triagem, que é baseada em critérios propostos a partir das características da ponte, tais como idade, classe de agressividade ambiental e nota da última inspeção. A triagem visa classificar as pontes em duas categorias a fim de calcular um prazo de inspeção que melhor caracterize o diagnóstico de saúde apresentado e com isso melhorar os cuidados com a ponte. Além disso, os danos estruturais mais comuns em pontes de concreto foram levantados na literatura e a partir deles todos os elementos da ponte foram avaliados quanto aos fatores de ocorrência, consequência e possibilidade de detecção. Com base nos fatores avaliados, obtêm-se o número de prioridade de inspeção e o novo prazo para inspeção. O método é aplicado a uma ponte existente que foi modelada no Revit com criação de rotina Dynamo que permite visualizar os elementos mais críticos e o prazo para nova inspeção. Este trabalho traz uma nova perspectiva sobre a análise de prazos para pontes, além de aliá-lo ao uso de Building Information Modeling (BIM).

Palavras-chave: Inspeção de pontes de concreto. Revit e Dynamo para pontes. Prazo entre inspeções.

Abstract

This paper presents a new method for calculating the time between inspections of concrete bridges, aiming at more rational inspection intervals based on the bridge's characteristics and the inspectors' engineering judgment. The methodology begins with triage, which is based on criteria proposed from the characteristics of the bridge, such as age, environmental

Como citar:
NASCIMENTO, C.; FEITOSA, V.; SOUZA, N; PALHA, R. Nova proposta para determinar prazos entre inspeções de pontes de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

aggressiveness class and grade of the last inspection. The triage aims to classify the bridges into two categories to calculate an inspection period that best characterizes the health diagnosis presented and thus improve the care of the bridge. In addition, the most common structural damages in concrete bridges were surveyed in the literature and from them, all the elements of the bridge were evaluated regarding the factors of occurrence, consequence and possibility of detection. Based on the evaluated factors, the inspection priority number and the new inspection period are obtained. The method is applied to an existing bridge modelled in Revit, creating a Dynamo routine that allows visualization of the most critical elements and the deadline for a new inspection. This work brings a new perspective on the analysis of deadlines for bridges, in addition to combining it with the use of Building Information Modeling (BIM).

Keywords: Inspection of concrete bridges. Revit and Dynamo for bridges. Deadline between inspection.

INTRODUÇÃO

Pontes são ativos de infraestrutura necessárias para o bem-estar público, crescimento econômico e o bem-estar social dos países [1], para tanto a avaliação de condição dos elementos que a compõem é necessária para uma boa gestão [2]. Para isso, inspeções devem ser programadas para determinar a condição física e funcional da ponte [2]. Muitos países possuem normativas estabelecendo prazos para a realização de inspeções. No Brasil e nos Estados Unidos, a inspeção rotineira deve ser realizada a cada dois anos [2,3]. Já na Europa, as inspeções são realizadas anualmente [4].

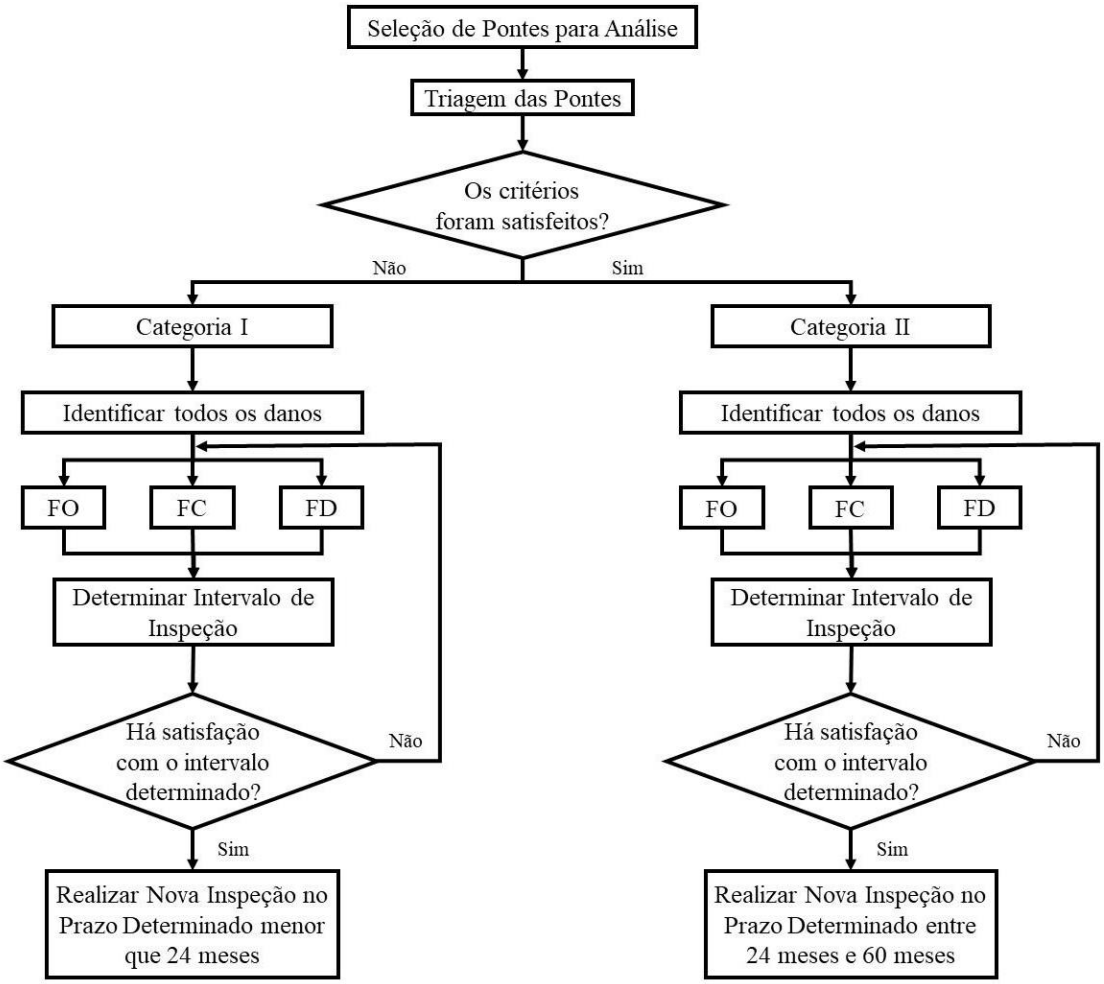
A atividade de inspeção é um requisito fundamental para as estratégias de manutenção em pontes, por isso é preciso padronizar essas atividades a fim de melhorar o diagnóstico da saúde das pontes [5]. Devido a sua importância e aos custos relativos à inspeção, é necessário que o seu planejamento seja de acordo com a necessidade de cada ponte. Pontes novas ou em ambientes que não são agressivos, não precisam ser inspecionadas em prazos inferiores a 24 meses [6,7]. Por outro lado, pontes com muitos danos estruturais precisam ser inspecionadas com prazos mais curtos a fim de monitorar as patologias encontradas enquanto a manutenção ou reparo não for iniciado.

Este artigo apresenta um novo método para cálculo de prazo de inspeção de pontes de concreto levando em consideração as características da ponte e os danos apresentados aliado ao uso de *Building Information Modeling* (BIM). O Revit e o Dynamo são utilizados para criação de um modelo com vistas a facilitar a visualização de elementos críticos e do prazo de inspeção.

MÉTODO

A metodologia proposta trata-se de uma adaptação que combina o Painel de Avaliação de Confiabilidade (RAP) proposto por Wascher *et al.*[7] e o Método para Intervalos de Inspeção (MII) para pontes metálicas proposto por Parr *et al.* [8]. A nova proposta avalia as características de confiabilidade, os possíveis resultados de danos [7] e o risco para identificar quais intervalor de inspeção são mais apropriados [8]. A Figura 1 demonstra o fluxograma geral do método proposto.

Figura 1: Fluxograma do método proposto



Fonte: os autores.

O processo se inicia na triagem das pontes, onde há a avaliação por critérios e classifica as pontes na Categoria I ou na Categoria II. A partir dessa fase, as pontes devem ser avaliadas em categorias diferentes, pois haverá prazos diferentes de inspeção para cada tipo. Após isso, identifica-se todos os danos estruturais que as pontes em concreto podem possuir. Esta etapa é de importância no processo, pois a partir dele serão feitas as análises dos Fatores de Ocorrência (FO), Fatores de Consequência (FC) e de Fatores de Detecção (FD). Após as análises dos fatores é determinado o intervalo de inspeção. Os especialistas avaliam se há satisfação com o intervalo obtido, caso haja, deve-se programar a próxima inspeção de acordo com o prazo determinado, caso não haja, é preciso rever os fatores determinados.

A qualidade e a eficiência dos dados obtidos na inspeção são influenciadas pelo conhecimento do inspetor sobre como a ponte funciona e o que controla sua resistência e estabilidade [2]. A tarefa de avaliar estruturas é mais complexa que a de projetar, pois o profissional que irá desempenhar este papel muito provavelmente não possuirá informações sobre as propriedades dos materiais e disposição das armaduras que compõem a ponte [9].

Logo, é importante que as avaliações sejam realizadas por profissionais bem treinados com experiência comprovada em inspeção e projeto de pontes a fim de que se possa detectar a velocidade das mudanças no nível de deterioração ou desempenho das estruturas e os riscos relacionados de maneira precisa e confiável [2,3,9].

FASE DE TRIAGEM

A fase de triagem tem por objetivo classificar as pontes em dois intervalos de inspeção: Categoria I (inspeções em até 24 meses) e Categoria II (inspeções em intervalos entre 24 meses e 60 meses). Se os 5 critérios forem satisfeitos a ponte será classificada como de Categoria II [8]. Os critérios a serem satisfeitos são:

- Critério 1 – pontes novas ou recentemente reabilitadas ou modernizadas [8].
- Critério 2 – pontes que não tiveram danos por colisão ou por transbordamento do rio [8].
- Critério 3 – pontes em áreas que não apresentem classe de agressividade ambiental forte, tais como ambientes quimicamente agressivos ou regiões de respingos de maré [10].
- Critério 4 – pontes que não foram avaliadas como em condição ruim ou crítica na última inspeção [3,8].
- Critério 5 – pontes com menos de 30 anos [3,7].

Assim, além dos 5 critérios, outros podem ser incluídos a depender da escolha das partes envolvidas no gerenciamento de pontes. Neste sentido, esta fase visa que pontes com características mais críticas possuam prazos de inspeção mais restritos, garantindo assim que as manifestações patológicas existentes sejam monitoradas de forma mais precisa e que permita estudos mais aprofundados e a recuperação estrutural. Já as pontes menos críticas podem obter intervalos maiores de inspeção, a fim de economizar recursos, pois elas possuem avaliação estrutural melhor.

A escolha dos intervalos de inspeção para a Categoria I está de acordo com o prazo adotados pela norma brasileira e americana que é de 2 anos para inspeções rotineiras [2,3]. Para a Categoria II se propôs um intervalo maior de 5 anos que está de acordo com o prazo adotado pela norma brasileira para inspeções especiais [3].

IDENTIFICAÇÃO DOS DANOS ESTRUTURAIS

Através de pesquisas na literatura [1,5,11–13] e documentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) [14,15], levantou-se os principais problemas encontrados em pontes de concreto. Logo, para a aplicação do método deve-se analisar os elementos estruturais em relação a: (i) delaminação; (ii) fissuras; (iii) corrosão; (iv) vazios no concreto; (v) ausência de cobrimento; (vi) fungos; (vii) lixiviação e mancha de carbonatação; (viii) mancha de umidade.

FATOR DE OCORRÊNCIA (FO)

O FO pode ser definido como estimativa de ocorrência de dano em um elemento de ponte durante um intervalo de tempo especificado, considerando os prováveis danos

e os mecanismos de deterioração que atuam no elemento [7,16]. Para estimar o FO, deve-se identificar os danos estruturais mais prováveis que afetarão cada elemento chave da ponte e classificá-los de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1: Descrição geral FO

Nível	Categoria	Descrição
1	Remoto	O dano não é visível na estrutura. Probabilidade remota de ocorrência do dano.
2	Baixo	O dano é visível na estrutura. Probabilidade baixa de piora no dano.
3	Moderado	O dano é visível na estrutura. Probabilidade moderada de piora no dano.
4	Alto	O dano é visível na estrutura. Probabilidade alta de piora no dano.

Fonte: [7,16].

O FO se classifica de remoto a alto, a depender da probabilidade do dano aparecer ou se agravar no tempo de classificação.

FATOR DE CONSEQUÊNCIA (FC)

O FC é usado para categorizar as consequências de danos com base em resultado antecipado ou esperado de falha [7,16]. O Quadro 2 indica as descrições gerais em termos de segurança e operacionalidade da ponte para categorizar o FC.

Quadro 2: Descrição geral FC

Nível	Categoria	Consequência na segurança	Consequência na facilidade de manutenção	Descrição
1	Baixo	Nenhum	Pequeno	Efeito pequeno na capacidade de manutenção, nenhum efeito na segurança
2	Moderado	Pouco	Moderado	Efeito moderado na capacidade de manutenção, efeito menor na segurança
3	Alto	Moderado	Grande	Grande efeito na capacidade de manutenção, efeito moderado na segurança
4	Forte	Grande	Grande	Colapso estrutural/perda de vidas

Fonte: [7,16].

Os cenários para que ocorram a falha são considerados com base no ambiente físico da ponte, padrões de tráfego típicos ou esperados e cargas, características estruturais da ponte e materiais envolvidos [7,16]. Esses cenários podem ser avaliados através de ensaios ou pela experiência dos avaliadores.

FATOR DE DETECÇÃO (FD)

O FD refere-se à estimativa em detectar as causas ou modos potenciais dos danos acontecerem [17,18]. O Quadro 3 mostra a descrição geral do DF.

Quadro 3: Descrição geral FD

Nível	Categoria	Descrição
4	Remoto	Muita dificuldade em detectar a origem dos danos, pois apresentam múltiplas causas.
3	Baixo	Dificuldade em detectar a origem dos danos, pois apresentam múltiplas causas.

2	Moderado	Facilidade em detectar a origem dos danos, pois se consegue, mesmo com um pouco de dificuldade, identificar suas causas.
1	Alta	Muita facilidade em detectar a origem dos danos, pois se pode identificar claramente suas causas.

Fonte: Adaptado de [17].

Detectar a origem do dano é importante para a saúde estrutural da ponte, pois identifica o procedimento correto de tratamento da manifestação patológica encontrada. A situação mais favorável é aquela que o avaliador consegue detectar facilmente a causa do dano estrutural e a situação mais desfavorável é aquela que é quase impossível detectar a origem do dano, tendo em vista que podem ser de diferentes fontes ao mesmo tempo, como umidade, carbonatação, má qualidade da construção, etc. [17,18].

DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DE INSPEÇÃO

A análise dos fatores FO, FC e FD pelos avaliadores fornece base para procedimentos de inspeção a serem usados a fim de priorizar a segurança e prever prazos para novas inspeções ou programar a manutenção [7]. Os modos de dano para cada elemento de ponte podem ser calculados conforme a equação 1 adaptada de [7], onde o número de prioridade de inspeção (NPI) é dado por:

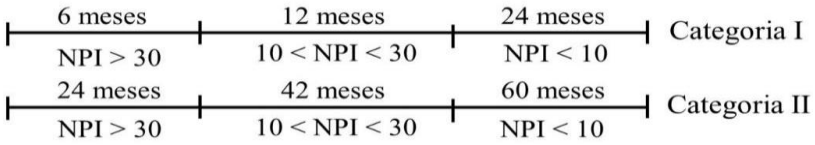
$$NPI = FO * FC * FC \quad (1)$$

A equação 1 destaca quais elementos estruturais das pontes são mais críticos e apresentam mais risco, ou seja, são mais prováveis de acontecer, suas consequências são mais graves e são mais difíceis de detectar. São esses elementos que devem ser inspecionados com maior cuidado e, a depender da avaliação global da ponte, ela também deverá entrar como prioridade de prazo para novas inspeções ou entrar na programação de manutenção.

Para a determinação do intervalo de inspeção, o avaliador deve considerar a pontuação NPI que melhor classifique a performance estrutural da ponte. Pode-se usar o maior valor do NPI de um dos elementos estruturais ou usar a média do NPI de todos os elementos. Essa escolha deve considerar quais elementos são mais críticos e se eles são responsáveis pela integridade estrutural da ponte.

Com o valor do NPI definido para a ponte, classifica-se o intervalo de inspeção de acordo com a Figura 2. O intervalo de inspeção dividido em Categorias é baseado no proposto por [8] e diferencia-se desse por estipular prazos de inspeção dentro do que propõe a norma brasileira e por ser direcionado a ponte de concreto.

Figura 2: Intervalos de inspeção



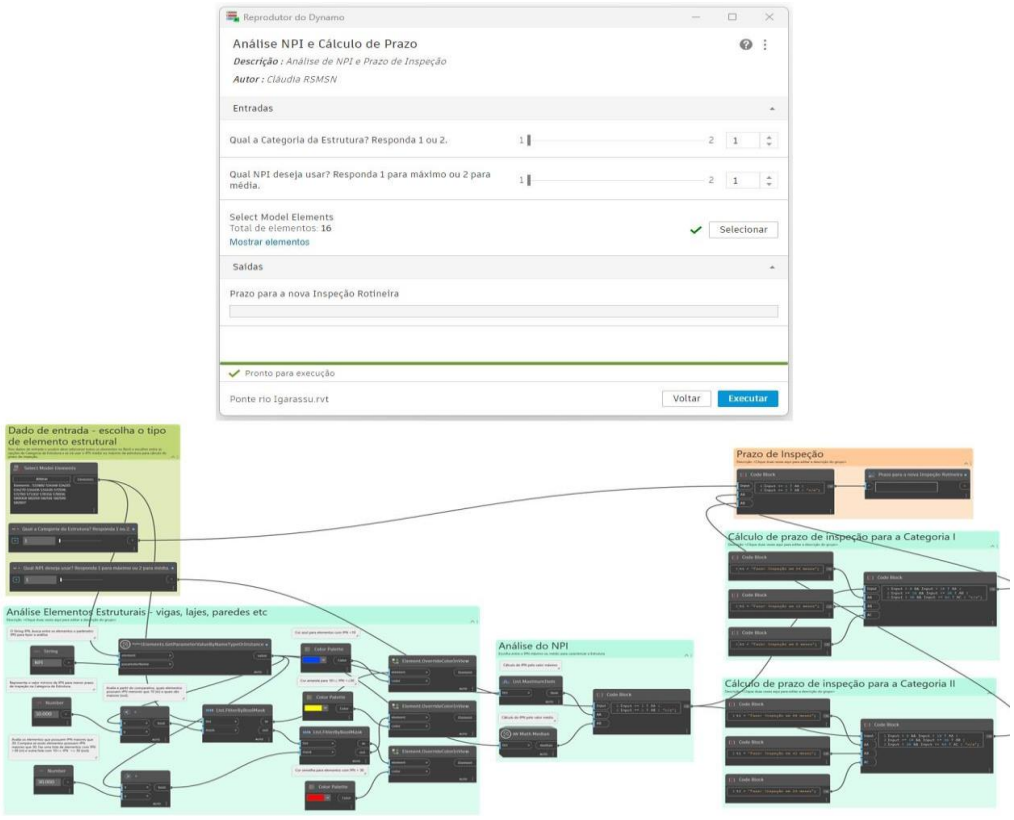
Fonte: Adaptado de [8].

Após a determinação do prazo de inspeção, verifica-se se o prazo está de acordo com a condição da ponte avaliada. Caso o avaliador considere o resultado insatisfatório, uma nova análise no fatores FO, FC e FD precisará ser feita. Caso o resultado seja satisfatório, a próxima inspeção rotineira da ponte deverá ser realizada no prazo determinado no processo.

MODELAGEM REVIT E ROTINA DYNAMO

A ponte foi modelada no software Revit e através do Dynamo, que é uma ferramenta de programação visual, foi possível a criação de uma rotina que lesse o NPI adotado por elemento estrutural e o mostrasse através de cores. A Figura 3 mostra as informações que devem ser fornecidas pelo usuário para que a rotina do Dynamo funcione, tais como a categoria da ponte (1 ou 2) e se o NPI a ser usado será o máxima (opção 1) ou a média (opção 2) para o cálculo do prazo de inspeção. As cores nos elementos estruturais estão conformes ao NPI de acordo com a legenda apresentada.

Figura 3: Layout e rotina do Dynamo para cálculo de prazo de inspeção



Fonte: os autores.

APLICAÇÃO NUMÉRICA E RESULTADOS

Para aplicação da metodologia, foi escolhida uma ponte sobre o rio Igarassu, localizada na Rodovia BR-101/PE (Figura 5). A ponte possui estrutura apoiada em vigas de concreto armado com largura de 8,30 m e 27,10 m de extensão com dois vãos contínuos. A seção transversal do tabuleiro é constituída por quatro vigas longarinas que são ligadas pelas transversinas e pelo tabuleiro. As longarinas possuem dois vãos contínuos e altura variando parabolicamente e apoiam-se nas paredes frontais portantes.

A metodologia se inicia com a avaliação da ponte nos critérios de triagem. A ponte, em sua última inspeção rotineira, obteve uma nota técnica crítica e por possuir mais de 30 anos de construção, ela se enquadra na Categoria I.

Os danos construtivos levantados na revisão da literatura foram avaliados para cada elemento estrutural da ponte para os fatores FO, FC e FD, como pode ser visto no Quadro 4.

Quadro 4: Avaliação da Ponte Igarassu

Elemento	Danos	OF	CF	DF
Tabuleiro	Delaminação (desplacamento)	3	2	3
	Fissuras	3	2	3
	Corrosão	3	2	3
	Vazios no concreto	3	2	3
	Ausência de cobrimento	4	3	2
	Fungos	3	2	3
	Lixiviação e mancha de carbonatação	3	2	3
	Mancha de umidade	3	2	3
	NPI - média	18.75		
	NPI - pior valor	24.00		
Vigas longarinas 1 a 4	Delaminação (desplacamento)	4	4	4
	Fissuras	4	4	4
	Corrosão	4	4	4
	Vazios no concreto	3	3	1
	Ausência de cobrimento	4	3	2
	Fungos	3	1	1
	Lixiviação e mancha de carbonatação	3	3	3
	Mancha de umidade	4	4	1
	NPI - média	33.88		
	NPI - pior valor	64.00		
Vigas transversinas 1 a 5	Delaminação (desplacamento)	1	3	3
	Fissuras	1	3	3
	Corrosão	1	3	3
	Vazios no concreto	1	3	3
	Ausência de cobrimento	1	3	1
	Fungos	3	1	1
	Lixiviação e mancha de carbonatação	3	3	3
	Mancha de umidade	4	2	2
	NPI - média	10.63		
	NPI - pior valor	27.00		

Guarda-corpo	Delaminação (desplacamento)	4	4	4
	Fissuras	4	4	4
	Corrosão	4	4	4
	Vazios no concreto	4	4	4
	Ausência de cobrimento	4	3	2
	Fungos	2	2	2
	Lixiviação e mancha de carbonatação	3	3	3
	Mancha de umidade	4	2	2
	NPI - média	41.38		
	NPI - pior valor	64.00		
Guarda-roda	Delaminação (desplacamento)	1	3	3
	Fissuras	1	3	3
	Corrosão	1	3	3
	Vazios no concreto	1	3	3
	Ausência de cobrimento	1	3	3
	Fungos	1	3	3
	Lixiviação e mancha de carbonatação	1	2	2
	Mancha de umidade	1	2	2
	NPI - média	7.75		
	NPI - pior valor	9.00		
Parede frontal 1 e 2	Delaminação (desplacamento)	1	3	3
	Fissuras	1	3	3
	Corrosão	1	3	3
	Vazios no concreto	1	3	3
	Ausência de cobrimento	4	3	2
	Fungos	3	1	1
	Lixiviação e mancha de carbonatação	3	3	3
	Mancha de umidade	4	2	2
	NPI - média	13.25		
	NPI - pior valor	27.00		
Parede frontal portante	Delaminação (desplacamento)	1	3	3
	Fissuras	1	3	3
	Corrosão	1	3	3
	Vazios no concreto	1	3	3
	Ausência de cobrimento	4	3	2
	Fungos	3	1	1
	Lixiviação e mancha de carbonatação	3	3	3
	Mancha de umidade	4	2	2
	NPI - média	13.25		
	NPI - pior valor	27.00		
NPI total da estrutura - média		38.00		
NPI total da estrutura - pior valor		64.00		

Fonte: os autores.

Para cada elemento estrutural foi calculado o NPI médio e máximo. Também foram calculados os NPI médio e máximo total da estrutura. A escolha de qual NPI representa o elemento e a estrutura é determinante para o cálculo do NPI da ponte e para a determinação do prazo de inspeção. Logo, cabe avaliar que danos e elementos estruturais apresentam as maiores notas e se eles pode colocar em risco a integridade da ponte.

No caso da Ponte Igarassu, as vigas longarinas apresentaram valores altos de NPI com problemas graves de desplacamento, fissuras e corrosão. Logo, como esses elementos e danos apresentados são estruturalmente críticos, o NPI a ser usado deve ser o máximo para caracterizar a ponte.

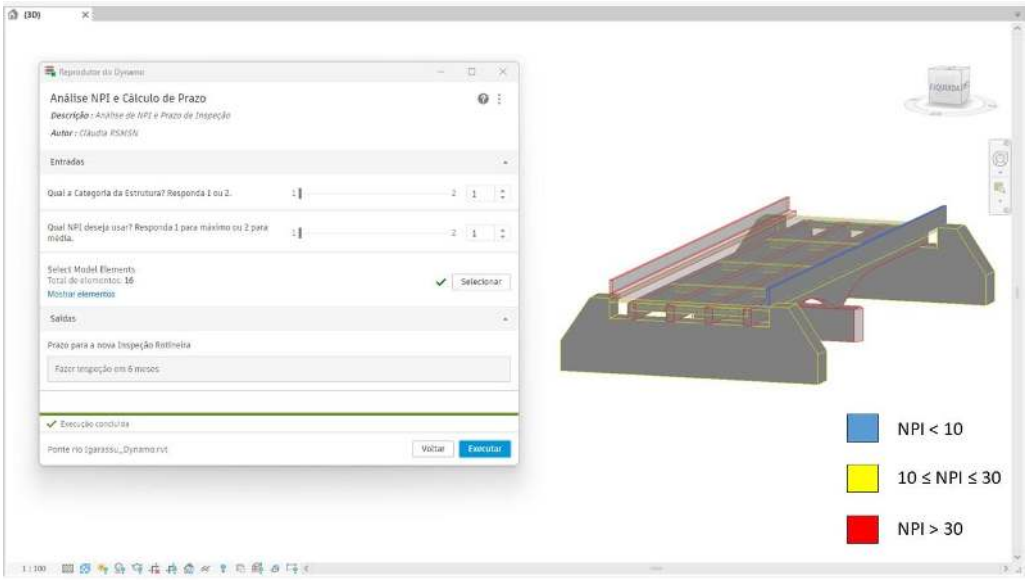
Caso os valores de NPI e de danos viessem de elementos como o do guarda-corpo ou guarda-rodas, seria recomendado o uso do NPI médio para a ponte, já que esses elementos não colocariam em risco a ponte.

Devido aos danos apresentados na ponte, a próxima inspeção rotineira deverá ser feita em 6 meses. O prazo curto de 6 meses está em conformidade com a situação crítica avaliada na última inspeção rotineira da ponte para as vigas longarinas e parede frontal portante. Deverá haver maior cuidado na realização de novas inspeções e uma manutenção deverá ser programada para a recuperação dos danos apresentados.

Deve-se destacar que os novos prazos de inspeção propostos estão em conformidade a norma brasileira. Para a Categoria I mantem-se o prazo de 2 anos (inspeção rotineira) e para a Categoria II adota-se o prazo de inspeção especial. Países como o Reino Unido e Irlanda adotam prazos de intervalo de 6 anos dependendo das condições da estrutura e do ambiente [19], além disso, as principais manifestações patológicas em estruturas de concreto são causadas por corrosão de armaduras e no intervalo de 5 anos é improvável que os danos se tornem um problema de segurança estrutural antes de serem detectados numa inspeção regular [6,7].

A Figura 4 mostra a ponte com as cores caracterizando os NPI adotados.

Figura 4: NPI por elemento e prazo de inspeção



Fonte: os autores.

Como as cores e o NPI ficam registrados no modelo, há facilidade de obter informações sobre cada elemento da ponte assim que o modelo é aberto. Isso pode agilizar o entendimento em relação a busca de informação via relatórios de inspeção, pois a ponte pode ser vista em 3D e o usuário consegue identificar rapidamente que elementos estão mais críticos e que merecem maior cuidado na realização da nova

inspeção ou no planejamento da manutenção. Além de que a ponte modelada permite medições e retirada de quantitativos que podem ser incorpordas no relatório de inspeção.

CONCLUSÃO

O artigo teve como objetivo propor um novo método para cálculo de prazo de inspeção para pontes de concreto que considera suas características e o julgamento de engenharia dos inspetores para obter intervalos de tempo de inspeção mais racionais.

As pontes são inicialmente separadas em duas categorias e em seguida cada elemento é avaliado nos Fatores FO, FC e FD. Assim se calcula o NPI representativo por elemento, que é importante para o cálculo do NPI da ponte, e pode-se obter o prazo para nova inspeção. A experiência do inspetor é fundamental tanto para a análise dos Fatores quanto para as escolhas do NPI.

Uma rotina Dynamo foi criada para obtenção do novo prazo de inspeção e visualização de elementos críticos dentro do Revit. A modelagem BIM traz como benefícios a obtenção rápida de informações sobre os elementos estruturais, saúde, quantitativos, localização, além de servir de complemento para os relatórios de inspeção.

O prazo fixado de 24 meses para a inspeção rotineira pode ser longo demais para estruturas que estão em situação crítica e curto demais para estruturas sadias. Logo, o método proposto traz um novo olhar sobre a análise de prazos, que leva em consideração características gerais da ponte e a situação da última inspeção rotineira.

Como limitação, destaca-se a falta de informações sobre os elementos estruturais de pontes, pois muitas delas tiveram seus projetos estruturais perdidos ao longo do tempo. Nestes casos, a aplicação da metodologia proposta se torna mais onerosa, pois seria necessário fazer levantamento estrutural existente para ser possível a modelagem em BIM. Além da modelagem dos elementos estruturais, é necessário uso dos pacotes Rhythm 2023.9.1 e Spring node 210.1.1 para que a rotina funcione perfeitamente.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente apoiado pela FACEPE (IBPG-1725-3.01/21).

REFERÊNCIAS

[1] ABDELKADER, E. M.; ZAYED, T.; FARIS, N. Synthesized Evaluation of Reinforced Concrete Bridge Defects, Their Non-Destructive Inspection and Analysis Methods: A Systematic Review and Bibliometric Analysis of the Past Three Decades. **Buildings**, 2023. v. 13, n. 3. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13030800

[2] AASHTO, A. A. Of S. H. And T. O. **Manual for Bridge element Inspection**. Second Edi ed, 2019.

[3] ABNT, A. B. De N. T. **NBR 9452: Inspection of concrete bridges and footbridges - Procedures**. Rio de Janeiro, 2019

[4] EVERETT, T. D. *et al.* **Bridge Evaluation Quality Assurance in Europe**. Washington D.C, 2008.

[5] ROCHA, J. H. A.; IBARRA-VILLANUEVA, R. Identification and analysis of pathological defect appearance in superstructures of reinforced-concrete bridges in chapare region, bolivia. **DYNA (Colombia)**, 2021. v. 88, n. 216, p. 15–21. DOI: https://doi.org/10.15446/dyna.v88n216.88247

[6] MULLARD, J. A.; STEWART, M. G. Stochastic Assessment of Timing and Efficiency of Maintenance for Corroding RC Structures. **Journal of Structural Engineering**, 2009. v. 135, n. 8, p. 887–895. DOI: https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2009)135:8(887)

[7] WASHER, G. *et al.*. New Framework for Risk-Based Inspection of Highway Bridges. **Journal of Bridge Engineering**, 2016. v. 21, n. 4, p. 1–8. DOI: https://doi.org/10.1061/(asce)be.1943-5592.0000818

[8] PARR, M. J.; CONNOR, R. J.; BOWMAN, M. Proposed Method for Determining the Interval for Hands-on Inspection of Steel Bridges with Fracture Critical Members. **Journal of Bridge Engineering**, 2010. v. 15, n. 4, p. 352–363. DOI: https://doi.org/10.1061/(asce)be.1943-5592.0000057

[9] MARTÍ-VARGAS, J. R. *et al.* Spanish guides and code specifications on concrete bridges inspection and maintenance: an overview. **Ce/Papers**, 2023. v. 6, n. 5, p. 833–839. DOI: https://doi.org/10.1002/cepa.2111

[10] ABNT, A. B. De N. T. **NBR 6118: Design of concrete structures — Procedure**. Rio de Janeiro, 2023.

[11] YANG, J. *et al.* A Review on Damage Monitoring and Identification Methods for Arch Bridges. **Buildings**, 2023. v. 13, n. 8. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13081975

[12] HÜTHWOHL, P.; LU, R.; BRILAKIS, I. Multi-classifier for reinforced concrete bridge defects. **Automation in Construction**, 2019. v. 105, n. March, p. 102824. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.019

[13] ARTUS, M.; KOCH, C. State of the art in damage information modeling for RC bridges – A literature review. **Advanced Engineering Informatics**, 2020. v. 46, n. August, p. 101171. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101171

[14] DNIT, D. N. De I. De T. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004a.

[15] DNIT, D. N. De I. De T. **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004b.

[16] WASHER, G. *et al.* **Proposed Guideline for Reliability-Based Bridge Inspection Practices**. [S.l.]: [s.n.], 2014. DOI: https://doi.org/10.17226/22277

[17] NASCIMENTO, C. R. S. De M. S.; ALMEIDA-FILHO, A. T. De; PEREZ PALHA, R. A TOPSIS-based framework for construction projects' portfolio selection in the public sector. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2023. n. 001. DOI: https://doi.org/10.1108/ecam-05-2023-0534

[18] MA, Z. *et al.* Data-driven decision-making for equipment maintenance. **Automation in Construction**, 2020. v. 112, n. July 2019, p. 103103. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103103

[19] National Highways, **CS 450 Inspection of Highway Structures**, 2021. https://www.standardsforhighways.co.uk